

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-118537

(43)Date of publication of application : 27.04.2001

(51)Int.Cl.

H01J 37/21

H01J 37/22

(21)Application number : 11-296246

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 19.10.1999

(72)Inventor : MIZUNO FUMIO

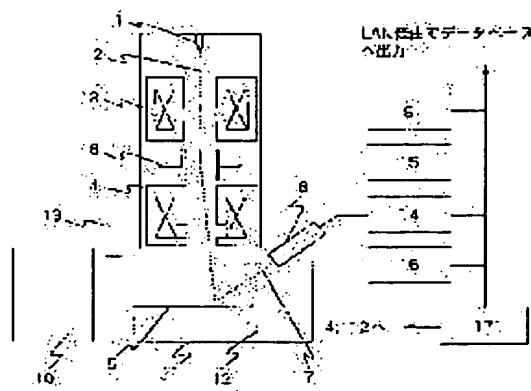
(54) BEAM-SCANNING INSPECTION APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a beam-scanning inspection apparatus which can carry out length-measurement of a pattern and the like with accuracy.

SOLUTION: A beam-scanning inspection apparatus comprises a means for changing stepwise a focus of beam, a storage medium for storing the sample images depending on focus changed by this means, and a means for forming the sample images by overlapping the sample images stored in the storage medium.

図1



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

20.10.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-118537
(P2001-118537A)

(43)公開日 平成13年4月27日 (2001.4.27)

(51)Int.Cl.⁷

H 01 J 37/21
37/22

識別記号

502

F I

H 01 J 37/21
37/22

テマコード(参考)

B 5 C 0 3 3
502H

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平11-296246

(22)出願日 平成11年10月19日 (1999.10.19)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 水野 文夫
茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株式会社日立製作所計測器グループ内

(74)代理人 100075096
弁理士 作田 康夫
Fターム(参考) 50033 MM05

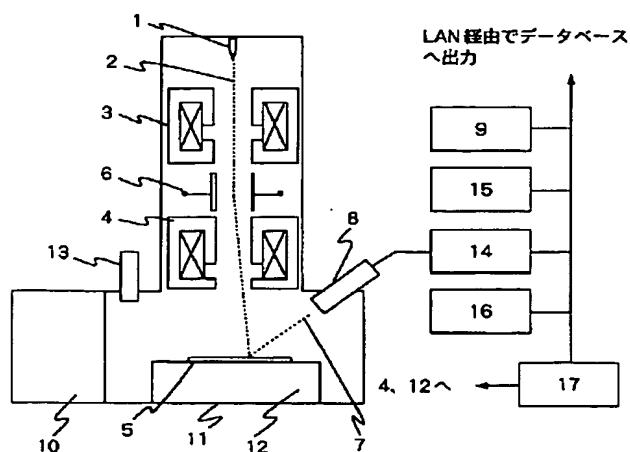
(54)【発明の名称】 ビーム走査形検査装置

(57)【要約】

【課題】本発明の目的は、上記問題を解決し精度良くパターン等の測長を行うことができるビーム走査形検査装置を提供することにある。

【解決手段】本発明では、上記目的を達成するために、ビームの焦点を段階的に変更する手段と、当該手段によって変更された焦点毎に試料像を記憶する記憶媒体と、当該記憶媒体に記憶された試料像を重畳して試料像を形成する手段を備えたビーム走査形検査装置を提供する。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】試料上にビームを走査して得られた信号に基づいて試料像を形成するビーム走査形検査装置において、前記ビームの焦点を段階的に変更する手段と、当該手段によって変更された焦点毎に試料像を記憶する記憶媒体と、当該記憶媒体に記憶された試料像を重畳して試料像を形成する手段を備えたことを特徴とするビーム走査形検査装置。

【請求項2】請求項1において、

前記ビームが電子ビームであることを特徴とするビーム走査形検査装置。

【請求項3】試料上にビームを走査して得られた信号に基づいて試料像を形成するビーム走査形検査装置において、前記ビームの焦点を段階的に変更する手段と、当該手段によって変更された焦点毎に試料像を記憶する記憶媒体と、当該記憶媒体に記憶された試料像を重畳して試料像を形成する手段と、当該重畳された試料像に基づいてラインプロファイルを形成する手段と、当該ラインプロファイルに基づいて寸法測定を実行する手段を備えたことを特徴とするビーム走査形検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は対象試料にビームを走査して、例えば半導体、撮像素子、或いは表示素子のパターン像等を取得する検査装置に関し、特に試料上の凹凸によらず適正な走査像に基づく試料の検査を可能ならしめるビーム走査形検査装置に関する。

【0002】

【従来の技術】走査電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope: 以下SEMとする)等のビーム走査形検査装置は、微細化の進む半導体ウェハ上に形成されたパターンの測定や観察に好適な装置である。またSEMの中でも測長SEMは、例えば試料に対する電子ビームの照射に基づいて得られるコントラストや、試料から発生する二次信号(二次電子や反射電子)の信号量に基づいてラインプロファイルを形成し、当該ラインプロファイルに基づいてパターンの寸法を測定する装置である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】SEMは、ビームを細く絞って試料上に照射する装置であり、試料上に適正に焦点を合せる必要がある。焦点合わせは、像全体で試料構造のふちの像のぼけが最小となるように行うのが一般的である。

【0004】しかしながら、昨今の半導体ウェハの多層化、微細化に伴い試料表面と、試料上に形成されたパターン上面或いはコンタクトホール底面との間の高低差やアスペクト比がより大きくなってきた。その結果電子線の適正な焦点距離が例えばパターンの上面と試料表面では異なるというような問題が生じてきた。

【0005】特開平6-89687号公報に開示されているよ

うな自動焦点合わせ機能を備えた走査電子顕微鏡では、焦点を段階的に変化させて行き、各焦点で得られた検出信号に基づいて、適正な対物レンズの励磁条件を決定する技術が採用されているが、試料像全体で平均的な焦点を得ているに過ぎず、パターンなど高さが異なる個所では部分的に焦点がぼけてしまうという問題がある。

【0006】この問題は特に半導体ウェハ等に形成されたパターンの形成幅を正確に測長できないことを意味し、測定精度の低下を招く原因となっていた。

【0007】本発明の目的は、上記問題を解決し精度良くパターン等の測長を行うことができるビーム走査形検査装置を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明では、上記目的を達成するために、試料上にビームを走査して得られた信号に基づいて試料像を形成するビーム走査形検査装置において、前記ビームの焦点を段階的に変更する手段と、当該手段によって変更された焦点毎に試料像を記憶する記憶媒体と、当該記憶媒体に記憶された試料像を重畳して試料像を形成する手段を備えたことを特徴とするビーム走査形検査装置を提供する。

【0009】また重畳された試料像に基づいてラインプロファイルを形成し、当該ラインプロファイルに基づいて寸法測定を行うビーム走査形検査装置を提供する。

【0010】

【発明の実施の形態】半導体素子の高集積化・高速化を実現するために、半導体ウェハ等に形成されるパターン微細化・デバイス構造立体化・配線多層化がより一層求められている。

【0011】一方、パターン微細化の進展は、検査装置で要求される測長精度をより高いものとし、デバイス構造の立体化・配線多層化の進歩は、測定パターンのアスペクト比(パターン高さ/パターン幅)を更に大きくする。この傾向を測長SEMについて考察すると、測長精度を上げるための高分解能化(あるいは高解像度化)と、高アスペクトパターン(あるいは高段差パターン)を観測可能にするための焦点深度拡大とを、同時に実現させることが必要となる。

【0012】しかし、分解能Rと焦点深度DOFは次式に示すような比例関係にあり、分解能を上げれば焦点深度は浅くなり、その関係は相反するものであった。

【0013】 $R \propto d$

$$DOF \propto d / \sin \alpha \quad (\propto R)$$

d: 電子ビーム径、 α : 電子ビームの半開角

したがって、例えば、微細・高段差パターンを高分解能条件(極細電子ビーム)で測定する場合、仮にパターン上面に焦点が合わせると、反面基板面がぼけ基板面パターンエッジ(所望のパターン幅)を高い測長精度で観測できなくなる。

【0014】逆に、常に基板面に焦点位置が合うように

電子ビームを制御することは、現在の焦点合わせ技術から見て極めて難しい。

【0015】本発明実施例装置は、このように相反する関係にある高分解能化（あるいは高解像度化）と焦点深度の拡大を両立させることを目的とするものである。

【0016】高分解能を目指して電子ビーム径を小さくすることは、収束レンズおよび対物レンズの縮小率を大きくすることである。縮小率が高くなると、一般的に、試料面に入射する電子ビームの開き角（ 2α ）が大きくなる。 2α が大きいと、焦点ずれ ΔF に伴う電子ビーム径の増分（ $2\alpha \cdot \Delta F$ ）も大きくなる。すなわち、焦点面での電子ビーム径 d を小さく設定するほど、焦点面に位置する対象は電子ビーム径が d と小さいためにより高分解能で観察できるが、焦点面から少しでも外れたところに位置する対象は電子ビーム径が（ $d + 2\alpha \cdot \Delta F$ ）と大きくなるため像がひどくボケてしまう。

【0017】本発明実施例ではこの点に着目し、深い焦点深度と高い分解能を両立することを可能とすべく、 α が大きい状態で、パターンの高さに合わせた幾つかの焦点位置で撮られた像を記憶しておき、これらの記憶像を重畳して一枚の試料像を形成するようにした。その原理を図2に示す。

【0018】パターンの上面に焦点を合わせたビーム（図2（a）の左側）でパターンを横切る方向に走査した時のラインプロファイルは、図2（c）のようになる。パターン上面のエッジプロファイルは鮮鋭であるが、基板面のエッジプロファイルは鈍っている。一方、基板面に焦点を合わせたビームを用いた場合、ラインプロファイルは図2（b）のようになり、基板面エッジは鮮鋭であるが、上面エッジでは鈍る。

【0019】図2（b）と（c）のラインプロファイルを重畳すると、図2（d）の実線で示すように、上面および基板面エッジともに鮮鋭なプロファイルとなる。理想的（全ての箇所で焦点が合っている）な点ビームで走査した時の理想的なラインプロファイルは、図2（d）の破線のようになるから、重畳して得られた（d）の実線が、（b）あるいは（c）に比べて、理想的な信号強度分布に近いことが分かる。すなわち、重畳プロファイルを用いれば、焦点位置にズレが有っても、高段差パターンを高精度で寸法測定できる。

【0020】重ねて言えば、画像重畳による焦点深度拡大の効果は、高分解能にすればするほどより顕著なものとなる。更に電子ビーム半開角 α が大きい時ほど、すなわち電子ビーム径 d が小さい時ほど、正焦点位置の画像はより鮮鋭になり、正焦点から少しでも外れた位置で撮られた画像はより平板的（画面全体の輝度を上げるだけの単なるバックグラウンド）になる。結果として、重畳された画像の解像度はより高くなる。

【0021】上記原理を実現させるため、本発明実施例装置ではビーム焦点位置設定と所定枚数のフレーム画像

形成・取得を繰り返し実行するための手段と、当該操作によって得られた複数のフレーム画像を重畳して試料像を形成するための手段とを持たせた。

【0022】以上のような構成によれば、高分解能（あるいは高解像度）と焦点深度の拡大を両立させることが可能になる。その結果、例えば、焦点位置合わせ精度の如何に拘わらず、微細な高段差パターンの寸法を高精度で測定することができる。

【0023】なお、焦点位置変更操作をフレーム単位で行うことにより、制御が容易であり、測定時間の冗長化を抑制することができる。

【0024】（実施例）以下図面を用いて本発明実施例装置について更に詳述する。なお、ここでは半導体ウェハ等上に形成されるパターンの寸法測定に用いられる測長SEMを例として本実施例装置を説明するが、これに限られることはなくイオンビームを用いた走査イオン顕微鏡や、レーザー光線を走査して試料像を形成する光学顕微鏡であっても良い。

【0025】電子銃1から放出された電子ビーム2は、加速された後、収束レンズ3および対物レンズ4によって細く絞られ、試料であるウェハ5の面上に焦点を結ぶ。収束レンズは電子ビーム電流値の制御、対物レンズは焦点位置の調整に使われる。ウェハ面上に焦点を結んだ電子ビーム2は、偏向器6によって軌道を曲げられ、該ウェハ面上を二次元あるいは一次元走査する。一方、電子ビーム2で照射されたウェハ部分からは、二次電子7が放出される。二次電子7は、二次電子検出器8によって検出され、電気信号に変換される。なお、以下の説明は二次電子7を検出するものとして説明するが二次電子7の代りに、あるいは二次電子7と共に反射電子を検出するようにしても良い。

【0026】電気信号は、信号処理部14にてA/D変換などの信号処理を受ける。信号処理された像信号は、記憶媒体であるメモリ部15に格納され、ディスプレイ9を輝度変調あるいはY変調するために使われる。ディスプレイ9は、電子ビーム2のウェハ面上走査と同期して走査されており、ディスプレイ上には試料像が形成される。二次元走査し輝度変調をかけば画像が表示され、一次元走査しY変調をかけばラインプロファイルが描かれる。

【0027】試料像（画像および／あるいはラインプロファイル）を用いてパターン寸法が測定される。まず

（1）画像を形成し、測定パターンの位置決めと焦点合わせを行う。次に（2）測定パターンを横切るようにして、寸法を求める方向に電子ビームを一次元走査し、ラインプロファイルを形成する。そして（3）ラインプロファイルから、所定のパターンエッジ決定アルゴリズムに従って、パターンエッジを決定する。更に（4）パターンエッジの間隔から測定パターンの寸法を算出する。最後に（5）得られた算出値を寸法測定結果として

出力する。

【0028】パターンエッジ決定アルゴリズムとして、一般的には、しきい値法や直線近似法が用いられる。しきい値法は、ラインプロファイルを所定のしきい値で切り、ラインプロファイルとしきい値との交点をパターンエッジとする方法である。

【0029】しきい値を50%に設定すると、パターンの実寸法に近い測定結果が得られる。直線近似法は、パターンエッジ部におけるラインプロファイルの変化を直線で近似し、この近似直線とラインプロファイル・ベースラインとの交点をパターンエッジとする方法である。

【0030】パターン寸法の測定精度（測長精度）は、一次近似として、電子ビームの径に比例する。電子ビームの径を小さくすることにより、測長値のバラツキを小さくすることができる。その一方で、電子ビーム径を小さくすると、電子ビーム径の二乗に逆比例して、電子ビーム電流は減少する。電子ビーム径を小さくするため、ビーム電流値を小さくし過ぎると、試料像のS/Nを低下させる。

【0031】大きなS/Nの低下は、像質すなわち解像度の劣化を招き、測長精度を低下させてしまう。すなわち、高い測長精度を実現させるためには、小さな電子ビーム径と十分なS/Nを両立させること（高分解能あるいは高解像度であること）が必要となる。

【0032】このような要求を実現するため、複数フレーム画像を重畳して試料像を形成する方法が採られている。その順序は先ず（1）小さな径の電子ビームで試料像（これをフレーム画像という：S/Nが低く像質は悪い）を形成する。（2）（1）のフレーム画像形成を複数回、例えば20回繰り返す。

【0033】（3）（2）で取得された20数のフレーム画像を重畠して、十分な解像度の試料像（小さな電子ビーム径で撮られた高いS/Nの像）を形成する。

（4）（3）で得られた試料像を処理してパターン寸法を算出する。

【0034】また本発明実施例装置でのパターンの寸法の測定手順は、以下の通りである。被測定ウェハの一枚5は、ウェハカセット10から取り出された後、プリアライメントされる。プリアライメントは、ウェハに形成されたオリエンテーションフラットやノッチなどを基準として、ウェハの方向を合わせるための操作である。

【0035】プリアライメント後、ウェハ5上に形成されたウェハ番号が、図示しないウェハ番号読み取り装置によって読み取られる。ウェハ番号は各ウェハに固有のものである。読み取られたウェハ番号をキーにして、予め登録されていたウェハに対応するレシピが読み出される。これ以降の操作はこのレシピに従って、自動的、あるいは半自動的に行われる。

【0036】レシピ読み出し後、ウェハ5は真空に保持された試料室11内のXYステージ12上に搬送さ

れ、搭載される。XYステージ12上に装填されたウェハ5は、試料室11の上面に装着された光学顕微鏡13とウェハ5上に形成されたアライメントパターンを用いて、アライメントされる。

【0037】アライメントは、XYステージの位置座標系とウェハ内のパターン位置座標系との補正を行うものであり、ウェハ上に形成されたアライメントパターンが用いられる。アライメントパターンの数百倍程度に拡大された光学顕微鏡像を、予めメモリ部15に登録されているアライメントパターンの参照用画像と比較し、その視野が参照用画像の視野と丁度重なるように、ステージ位置座標を補正する。

【0038】アライメント後、X-Yステージ12と偏向コイル6によって所定の測定パターン位置に視野移動され、測定パターンが位置決めされる。そして当該視野位置で焦点位置を合わせた後、測定パターンの試料像が、前述のフレーム画像重畠方式で形成され、メモリ部15に記憶される。

【0039】焦点合わせは、一般的には試料像の信号強度分布（ラインプロファイル）を観測し、ラインプロファイルが最もシャープであると思われる位置に調整される。そしてメモリ部15から読み出された試料像を用い、寸法測定部16では、所定のパターンエッジ決定アルゴリズムに従って、測定パターンの寸法が算出される。

【0040】本発明実施例装置では、この試料像形成の際に以下のような処理を行う。図1の制御部17は、電磁レンズの焦点距離が励磁電流の二乗にほぼ逆比例することを利用し、対物レンズ4の励磁電流を制御することによって、電子ビーム焦点位置を所定のフレーム数毎に変更する。

【0041】例えば、前述の焦点合わせ法を用いて得られた焦点位置を含むように設定した所定の焦点距離範囲に対応させて、励磁電流を大きい値からステップ状に小さくして行きながら（パターン上面付近から基板面に向かって焦点位置を変えながら）4フレーム、6フレーム、8フレーム、10フレーム、12フレームの如くしてフレーム画像を取得・記憶して行く。

【0042】ここでは、基板からの放出二次電子がパターン側壁に遮られ、基板に近いほど二次電子信号量が少ないことを考慮して、基板に近づくほどフレーム枚数を増加させてある。このようにすることによって試料像全体で明るさが均質であり且つ分解能の高い像を得ることができる。

【0043】次に記憶されたフレーム画像を読み出し、低空間周波数成分をカットするためにハイパスフィルタを通した後、重畠して試料像を形成する。この際、パターン面から上に外れた焦点位置、あるいは基板面から下に外れた焦点位置で取られたフレーム画像は、電子ビームのぼけが大きいため、ほぼ均一な輝度の一様な画像

(低空間周波数成分のみの画像)となり、低空間周波数成分をカットして重畠しても、これらが試料像の解像度を劣化させることはない。

【0044】これらのフレーム画像取得条件は、予めメモリ部15にレシピとして登録される。レシピとは、測定作業を自動的あるいは半自動的に行うため、測定手順や測定条件を定めたものである。

【0045】なお、低空間周波数成分カットは、フレーム画像重畠の前処理として行う代わりに、フレーム画像形成あるいはフレーム画像記憶前に行ってもよい。いずれにしても、ハイパスフィルタにより低空間周波数成分をカットした結果、焦点位置から外れた対象物からの信号成分を除去でき、パターンエッジがより鮮鋭な試料像を得ることができる。

【0046】この試料像に基づいてラインプロファイルを形成する。そしてこのラインプロファイルのエッジ間の距離に基づいてパターン測長が実行される。本発明実施例装置の場合、これらの処理は制御部17で行われる。

【0047】そしてウェハ内の予め指定された測定箇所すべてをアライメント後以降の操作を繰り返し行うことによって、寸法測定される。このようにして一枚のウェハの測定が終わる。ウェハカセットの中に複数の被測定ウェハが残っている場合には、次のウェハをウェハカセットから取り出した後、上記手順に従って、繰り返し測定を行う。寸法測定結果は、測定箇所の位置座標データや測定箇所画像などとともに出力され、図外のデータベースに登録され、後での解析に使用される。

【0048】本実施例では、焦点位置を変更するために対物レンズ励磁電流を制御する方法を用いたが、代わりに試料ステージの高さを変えるようにしても良い。

【0049】また試料に負電圧を印加することによって、電子ビームに対する減速電界を形成し、高加速電子ビームによる試料へのダメージやチャージアップを抑制

する技術(リターディング技術)を採用している装置の場合、試料に印加される負電圧を調節することで電子ビームの焦点を調節するようにしても良い。

【0050】絶縁物試料で、チャージアップが飽和するまでに時間がかかるような試料については、電子ビームを所定の時間照射した後、試料像を取り込むようにすると良い。事前照射操作をレシピ化することも可能である。

【0051】本実施例装置では、パターン寸法測定のプローブに電子ビームを用いたが、代りのプローブとしてイオンビームなどを用いても良い。また本実施例装置では1プローブの場合を示したが、マルチプローブで像形成を行う方式であっても構わない。また、半導体ウェハを観察する場合について示したが、代りに撮像素子や表示像素子用のウェハであってもよいし、ウェハ以外の試料であっても構わない。

【0052】

【発明の効果】高分解能(あるいは高解像度)と焦点深度の拡大を両立させることができになる。その結果、高分解能で撮られた試料像が見易くなる。更に測長SEMについては、微細な高段差パターンの寸法を高精度で測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】測長SEMの原理と本発明における装置構成を説明するための図。

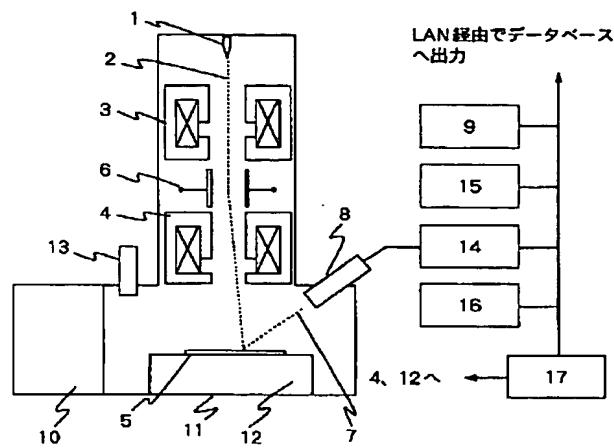
【図2】本発明の原理を示すための図。

【符号の説明】

1…電子銃、2…電子ビーム、3…収束レンズ、4…対物レンズ、5…ウェハ、6…偏向コイル、7…二次電子、8…二次電子検出器、9…ディスプレイ、10…ウェハカセット、11…試料室、12…XYステージ、13…光学顕微鏡、14…信号処理部、15…メモリ部、16…寸法測定部、17…制御部。

【图 1】

1



【図2】

2

